

# SISMO-HAITÍ



Proyecto de cooperación para el cálculo de la peligrosidad y el riesgo sísmico en Haití

# Grupo de trabajo SISMO-HAITÍ

---

## Universidad Politécnica de Madrid

Belén Benito Oterino  
Jaime Cervera Bravo  
Jorge Gaspar Escribano  
Alejandra Staller Vázquez  
Sandra Martínez Cuevas  
Alicia Rivas Medina  
Yolanda Torres Fernández  
Raúl García Martínez  
Pilar González-Crende  
Ana Rita Serna Martínez  
Maja Parovel  
Romina García Castro

## Universidad Complutense de Madrid

José Jesús Martínez Díaz  
Diego Córdoba Barba

## Universidad de Almería

Manuel Navarro Bernal

## Red Sísmica de Puerto Rico

Víctor Huérfano

## Observatorio Nacional del Medioambiente y Vulnerabilidad

Dwinel Belizaire  
Jean Michel Haendel Dorfeuille  
Gaspard Pierristal

## Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Miguel de las Doblas Lavigne

## Universidad de Alicante

Sergio Molina Palacios

## Universidad de Kanagawa

Takahisa Enomoto

## Instituto Sismológico Universitario de la République Dominicaine

Eugenio Polanco



# Índice

---

- Objetivos
- 1ª toma de datos en campo (julio 2011)
- Resultados obtenidos
- Conclusiones
- Difusión
- Líneas Futuras



## Introducción

---

**Origen:** respuesta a una petición de ayuda del gobierno haitiano

**Financiado** por la UPM

**Fechas:** Ene 2011- May 2012

**Coordinación:** España, GIIS-UPM

**Contraparte:** Haiti, ONEV

**Participantes :**

Universidad de Alicante



Universidad de Almería



Universidad Complutense de Madrid



Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)



Servicio Sismológico de República Dominicana



Servicio Sismológico de Puerto Rico



CAMPUS  
DE EXCELENCIA  
INTERNACIONAL







# Objetivos

## Escala regional



- Estudios geológicos
- Evaluación de **amenaza sísmica** en La Hispaniola
- Propuesta de criterios de **diseño sismorresistente**.
- Medidas de mitigación del riesgo y diseño de **planes de emergencia**.

## Escala local



- Evaluación del efecto local y elaboración de mapas de **microzonación**
- Estudio de **vulnerabilidad sísmica**
- Estimación del **riesgo sísmico** en las poblaciones elegidas.

## Formación

### Actores:



**Financiación:** UPM-Actividades con Latinoamérica



## Primera toma de datos en campo. Visita Puerto Príncipe junio 2011



UPM  
UAL  
UA  
U. Kanagawa





## SIG



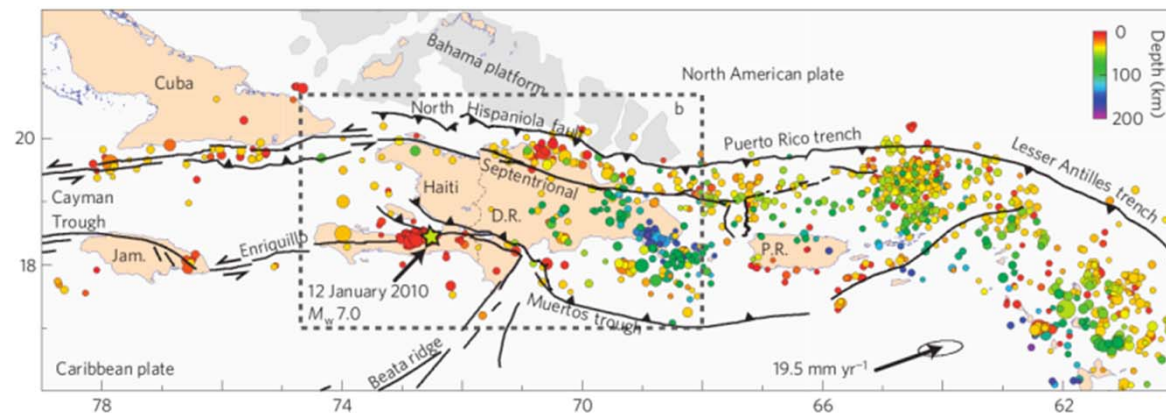
**BD** con toda la información organizada.

**SIG** como herramienta que proporciona un entorno geográfico para todas las capas de información y permite homogeneizarla, tratarla, analizarla y publicar los resultados (WMS y WFS).



**Fuentes:** USGS, ONU, NASA, OpenStreetMap, GeoEye...  
**Software:** ArcGis y GvSIG

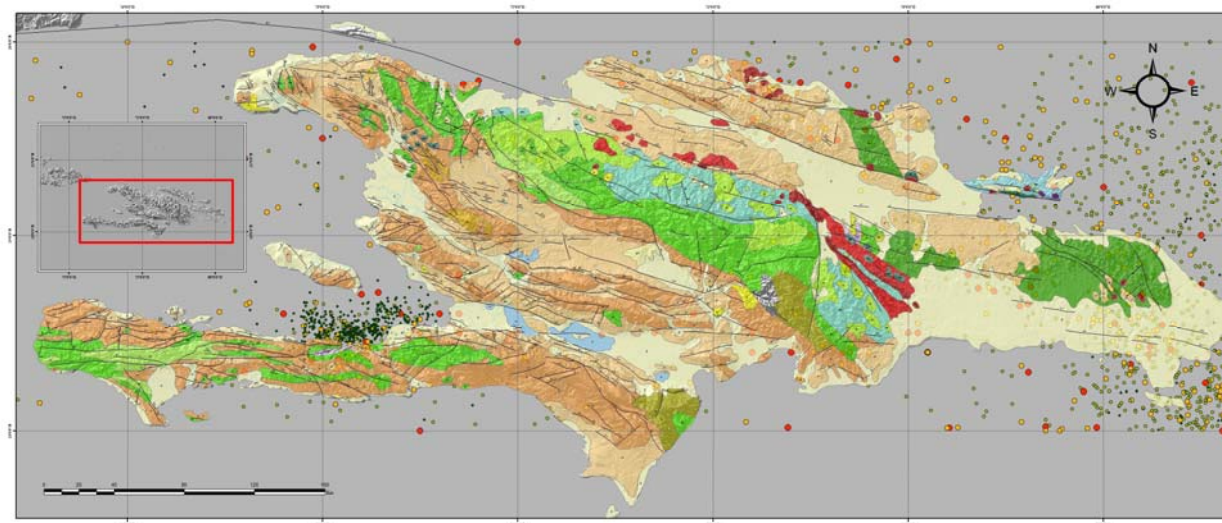
# TECTÓNICA ACTIVA



**Deformación trascurrente:**  
 Norte: falla Septentrional (9mm/a)  
 Sur: falla Enriquillo (7mm/a)  
 (Manaker et al., 2008)

**Compresión:**  
 Zona de subducción  
 Interior de La Hispaniola

## Mapa geológico y de fallas activas



**MAPA MORFOTECTÓNICO  
 DE FALLAS ACTIVAS DE LA  
 REPUBLICA DE HAÏTÍ**

ESCALA 1 : 1'000,000

### LEYENDA

#### UNIDADES Y CROSOS STRATIGRAFICAS

- Agua
- Aluviales
- Fallas volcánicas
- Fallas tectónicas
- Fallas de deslizamiento
- Edificios volcánicos, Páramos, y puentes colgantes de la Sierra de la Cordillera

#### CLASIFICACIÓN

- Clasificación
- Quemados volcánicos, Bolas, y granito de la Sierra de la Cordillera
- Edificios volcánicos, Páramos, y puentes colgantes de la Sierra de la Cordillera

#### TECTÓNICO

- Falla lateral
- Falla normal
- Falla inversa
- Falla de deslizamiento
- Falla de deslizamiento
- Falla de deslizamiento

#### TECTÓNICO

- Falla lateral
- Falla normal
- Falla inversa
- Falla de deslizamiento
- Falla de deslizamiento
- Falla de deslizamiento

#### TECTÓNICO

- Falla lateral
- Falla normal
- Falla inversa
- Falla de deslizamiento
- Falla de deslizamiento
- Falla de deslizamiento

#### TECTÓNICO

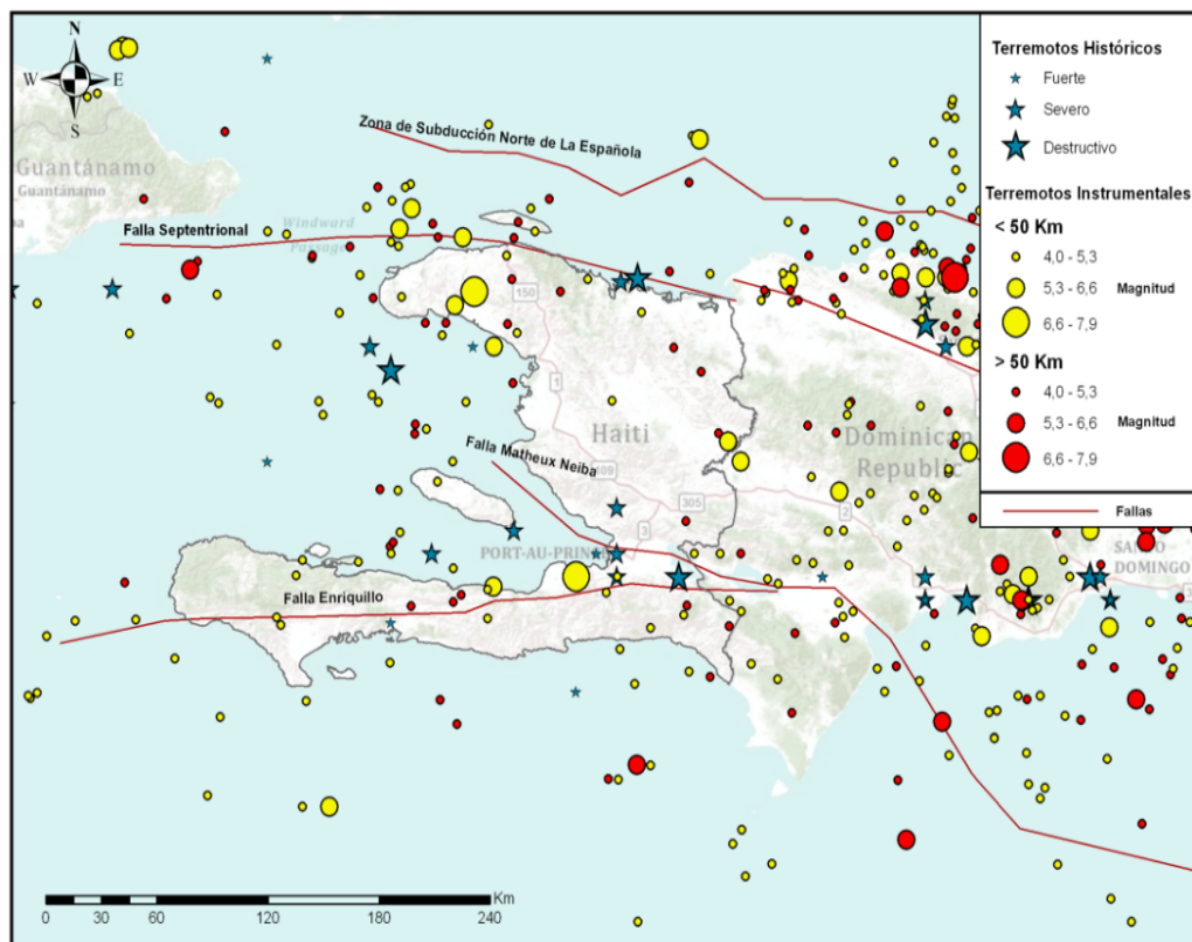
- Falla lateral
- Falla normal
- Falla inversa
- Falla de deslizamiento
- Falla de deslizamiento
- Falla de deslizamiento







## PELIGROSIDAD - CATÁLOGO



### Fuentes



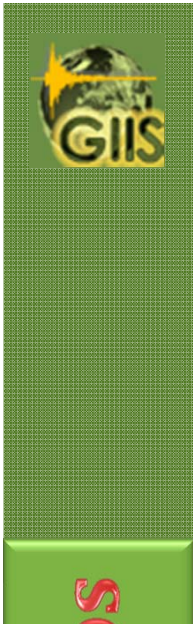
Natural Resources  
Canada



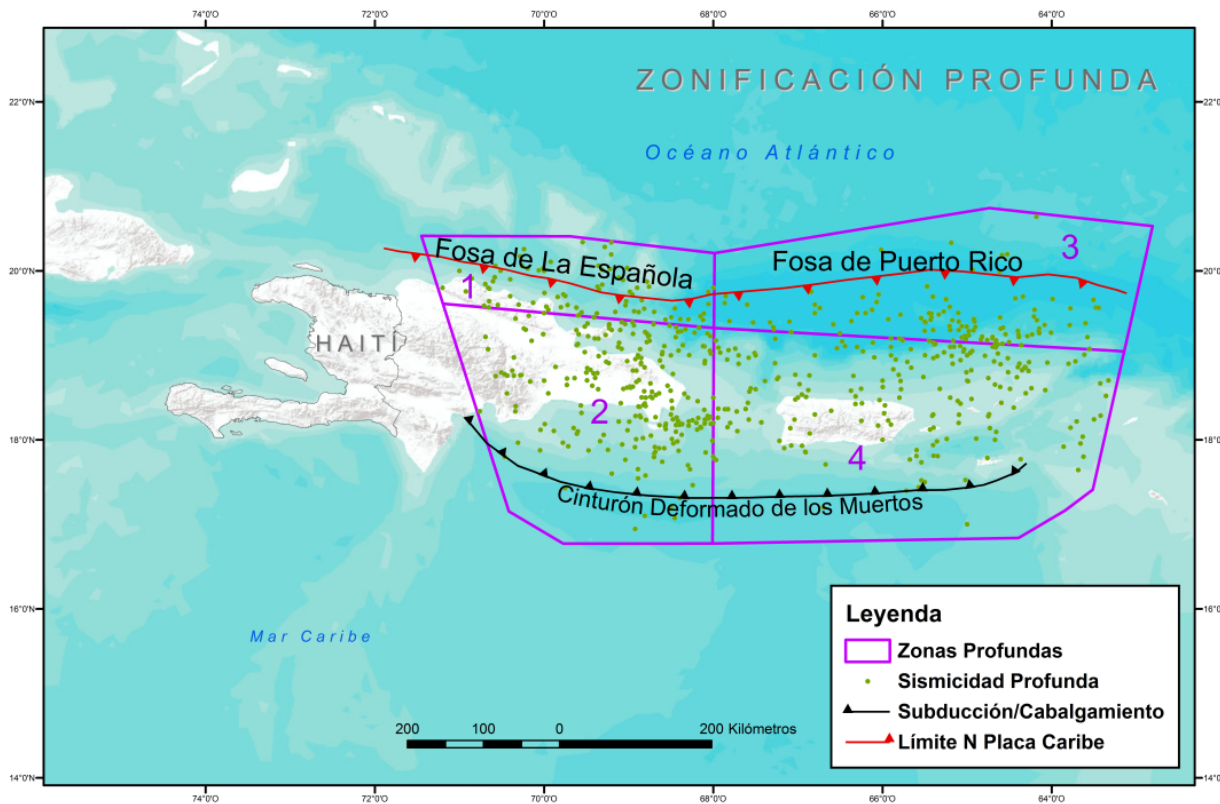
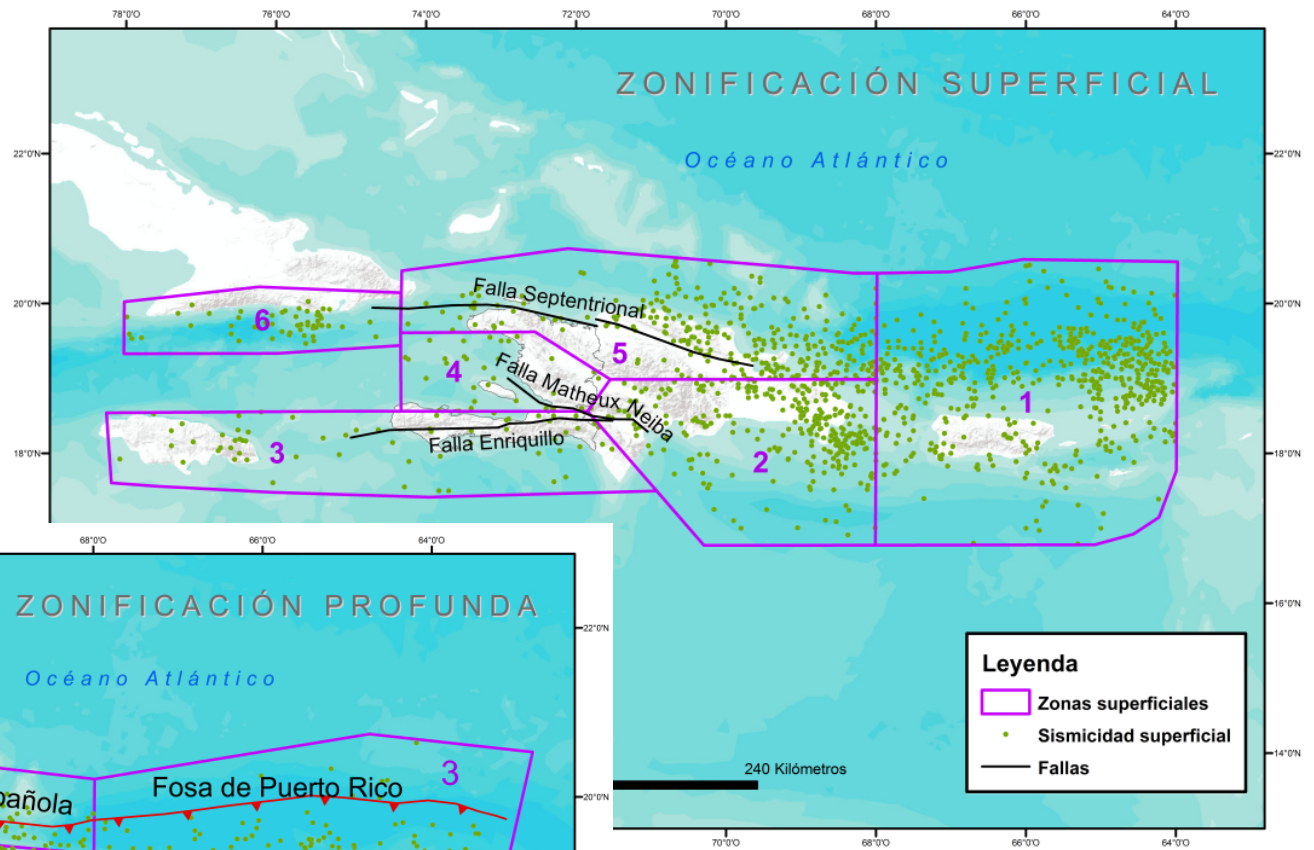
NATIONAL GEOPHYSICAL  
DATA CENTER  
NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION

**Histórico:** 81 sismos ocurridos desde 1562 con M entre [5.5 - 7.7]

**Instrumental:** 2217 eventos registrados entre los años 1950 a 2011 con magnitudes entre [4.0 - 7.4]



# PELIGROSIDAD - ZONIFICACIÓN



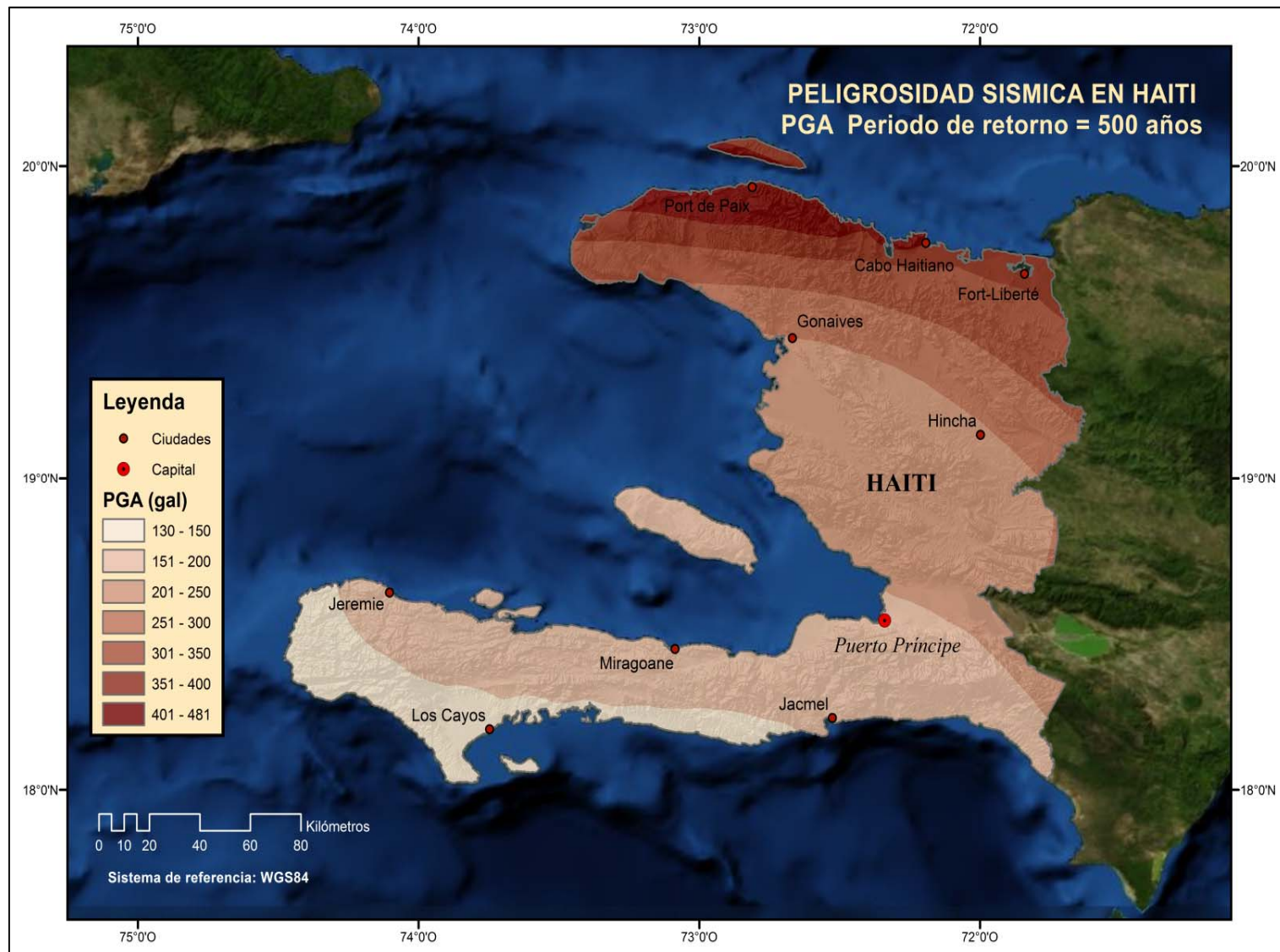




## PELIGROSIDAD - MAPAS

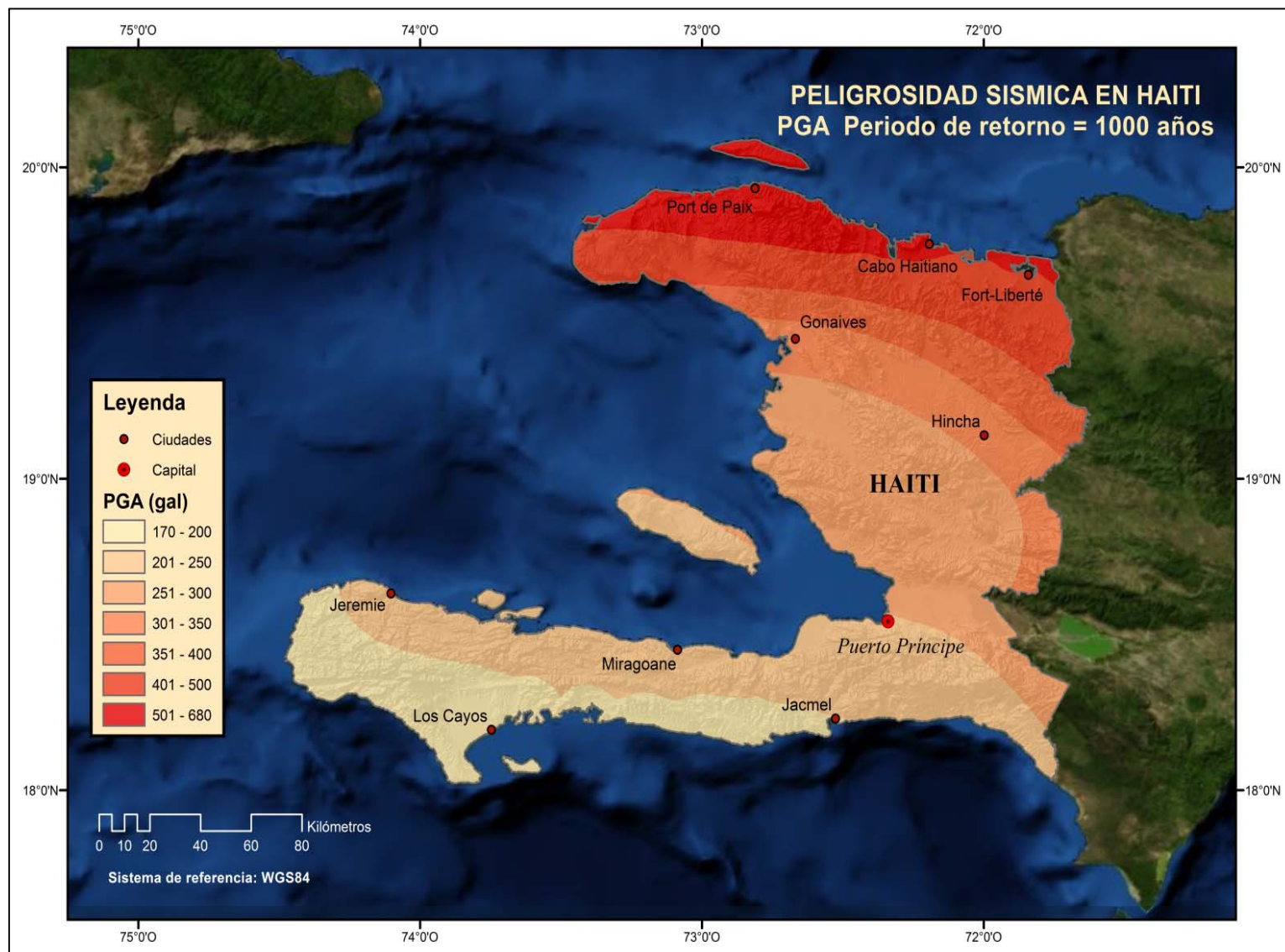


Resultados Obtenidos





## PELIGROSIDAD - MAPAS

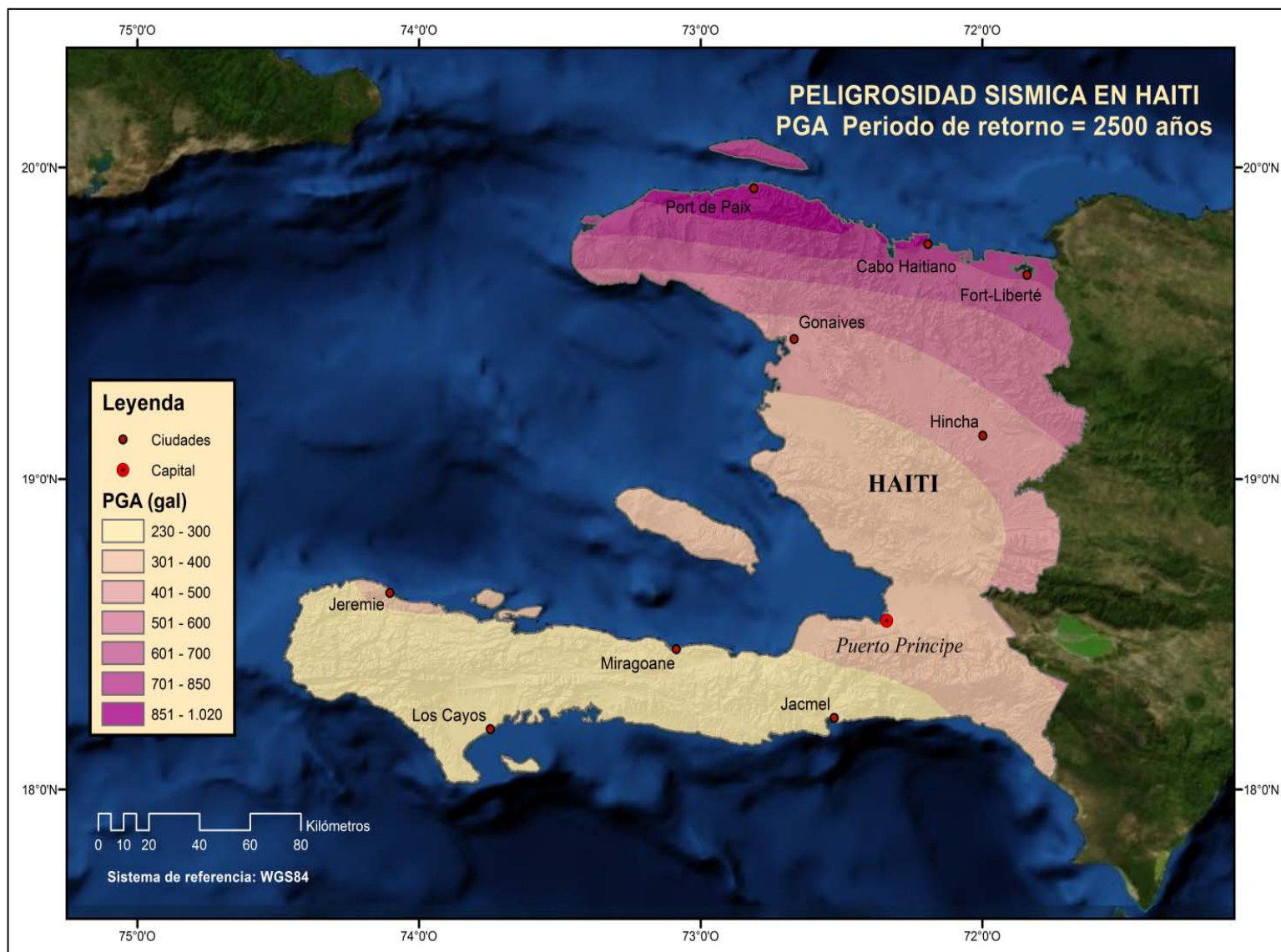


Resultados Obtenidos





## PELIGROSIDAD - MAPAS



Resultados Obtenidos

## Estudio de daños

1. Explicación de las causas de los graves daños, especialmente de los colapsos
2. Identificación de tipologías constructivas predominante en Puerto Príncipe y las prácticas de construcción locales

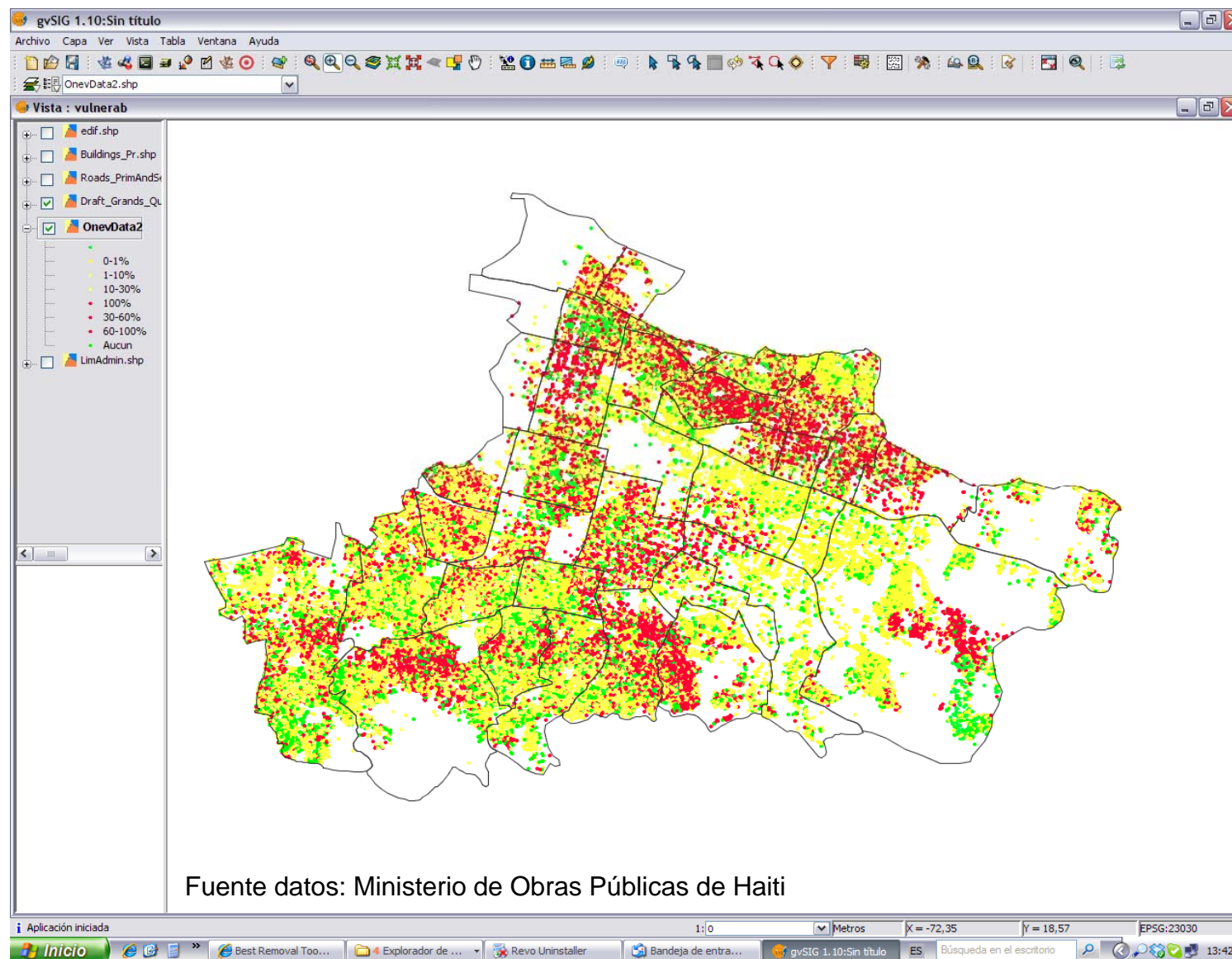






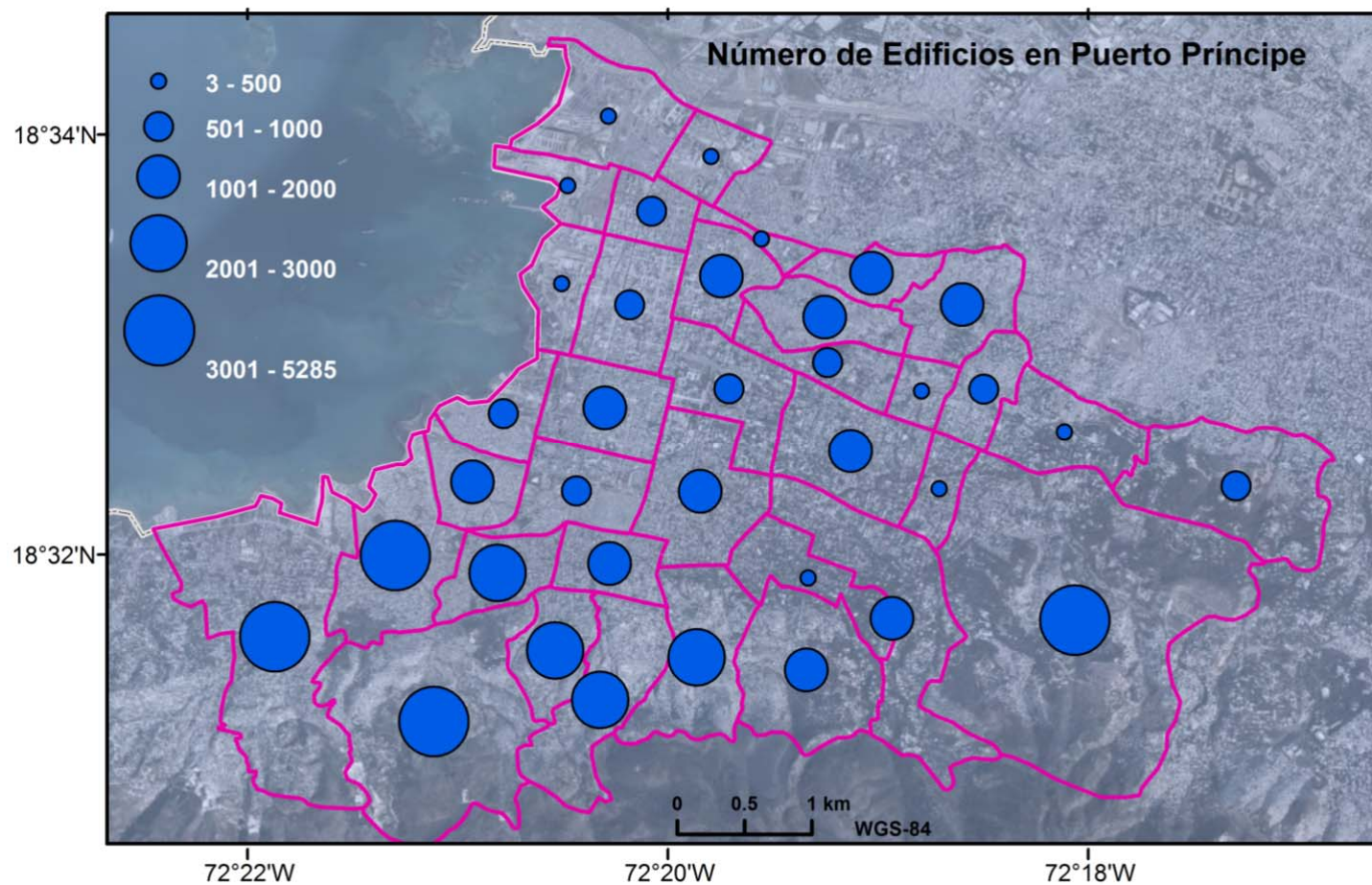
# RIESGO - DAÑOS

## Daños causados por sismo ene-10



## Nº edificios en Puerto Príncipe

Resultados Obtenidos





## Ejemplos de tipologías constructivas



WD.UR



URC



CW



WW

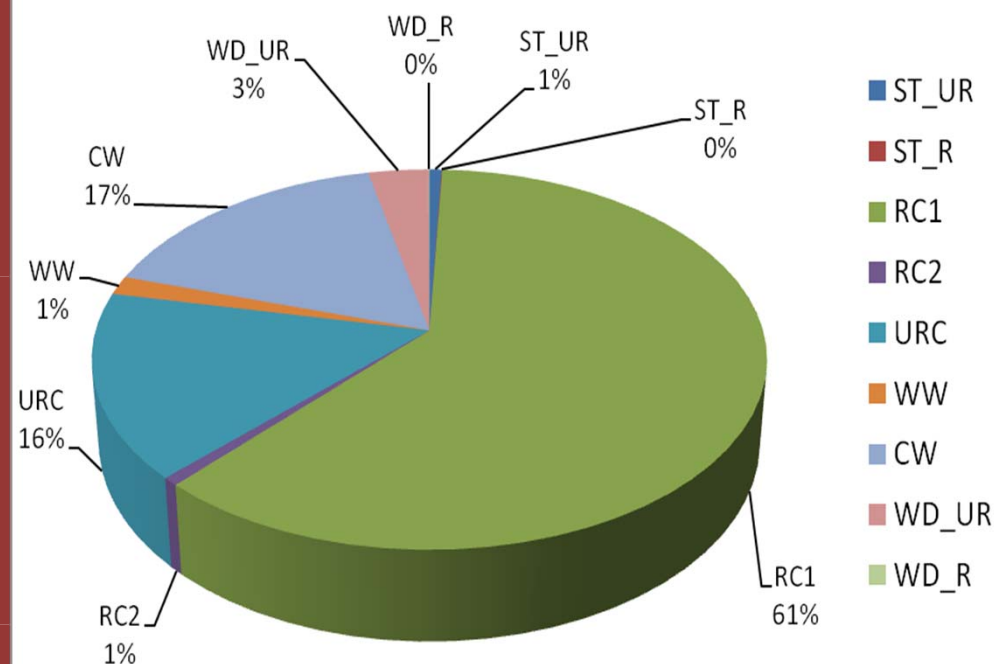


WD.R



RC1

## Distribución de tipologías constructivas en Puerto Príncipe

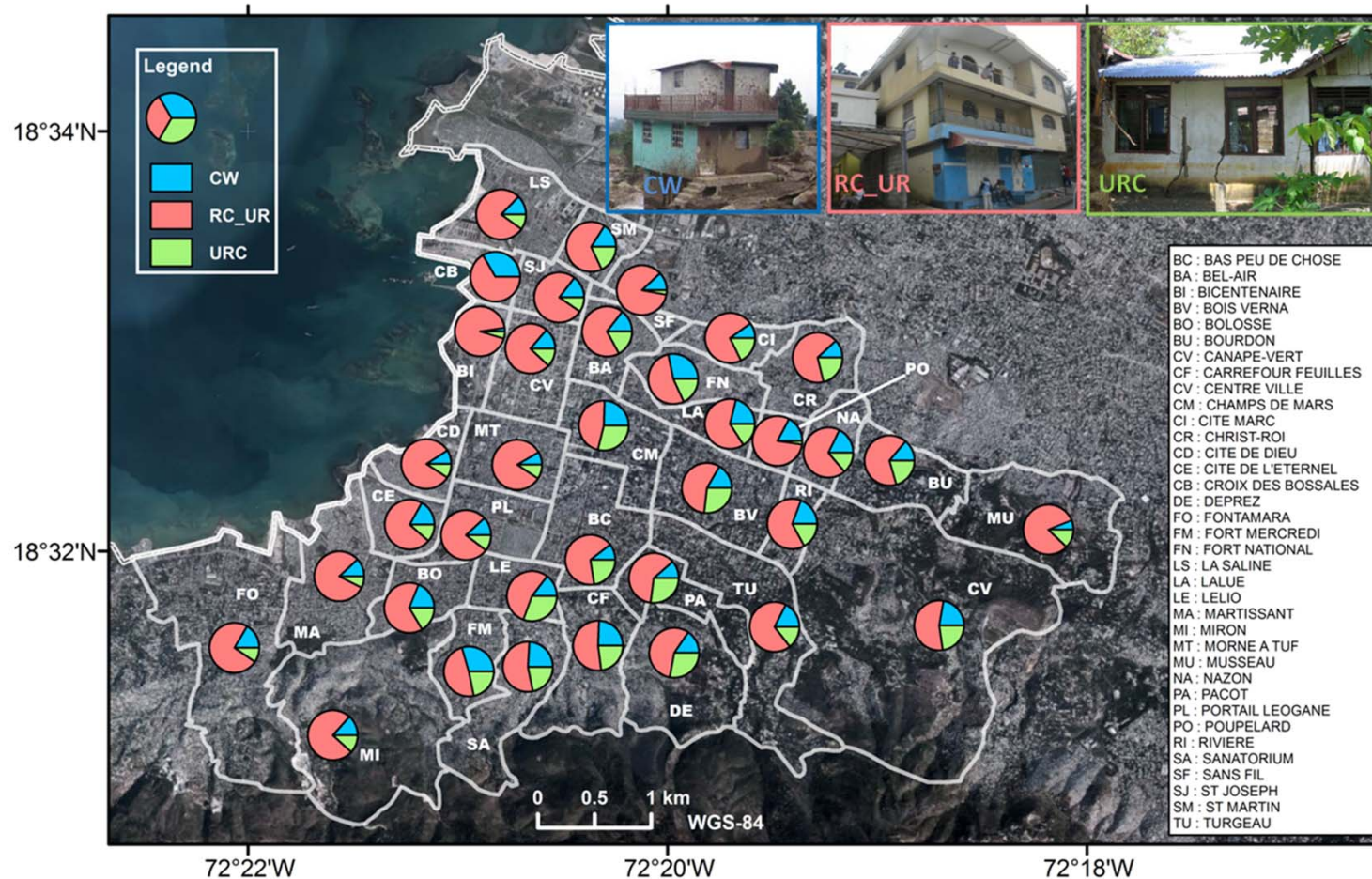


### Predominantes:

RC1 (estructura de hormigón armado)  
URC (estructura de hormigón sin armar)  
CW (muros confinados)

# RIESGO - TIPOLOGÍAS

## Mapa de distribución de tipologías constructivas en Puerto Príncipe



Resultados Obtenidos

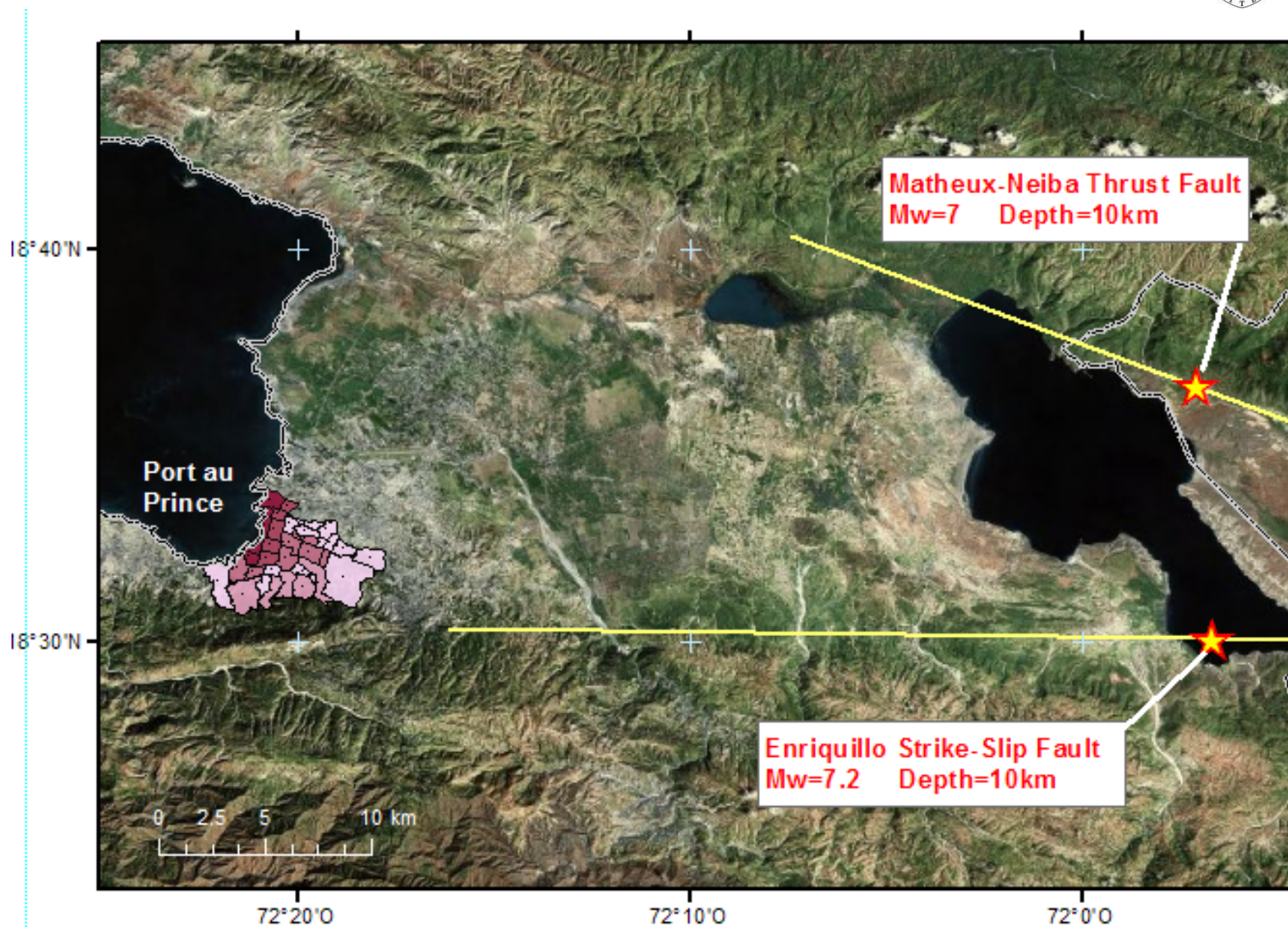




## RIESGO - ESCENARIOS SÍSMICOS

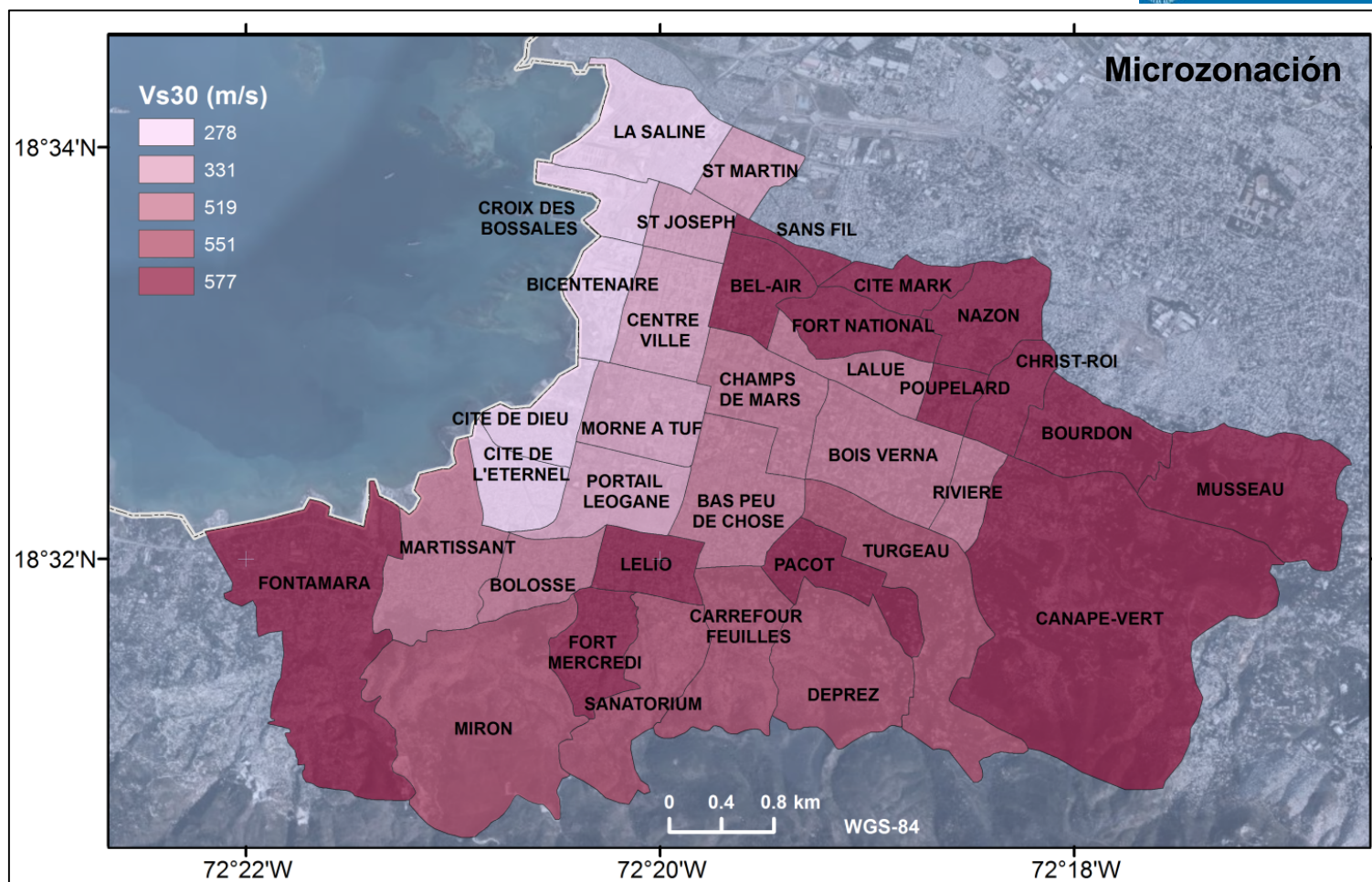


### Escenarios sísmicos definidos



Resultados Obtenidos





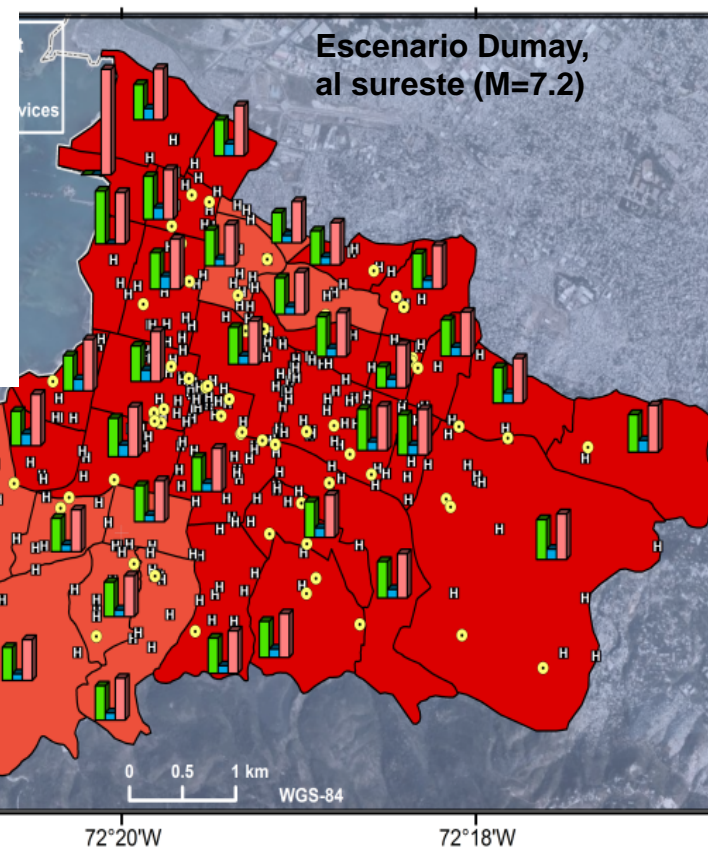
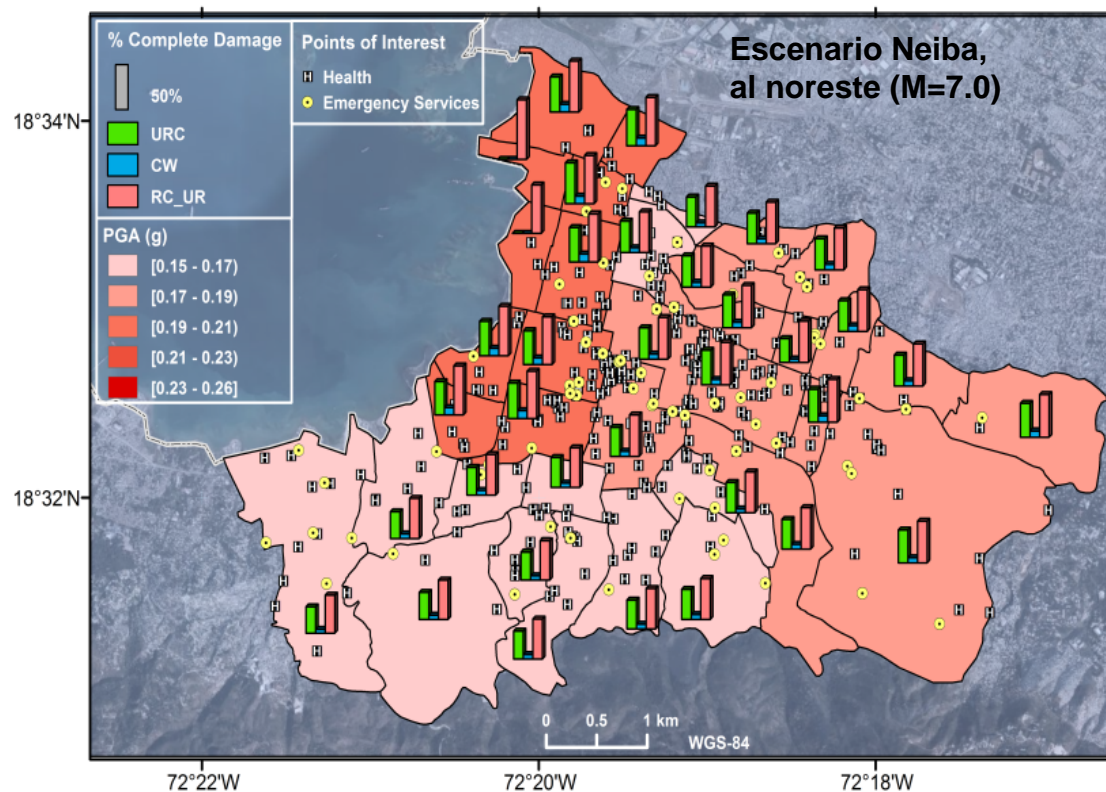
## Resultados

1. Mapa de microzonación (en términos de Vs30)
2. Identificación de los emplazamientos con suelo firme para la construcción de las nuevas edificaciones
3. Relación entre la distribución de los daños y el efecto local





## RIESGO – DAÑO COMPLETO (%)



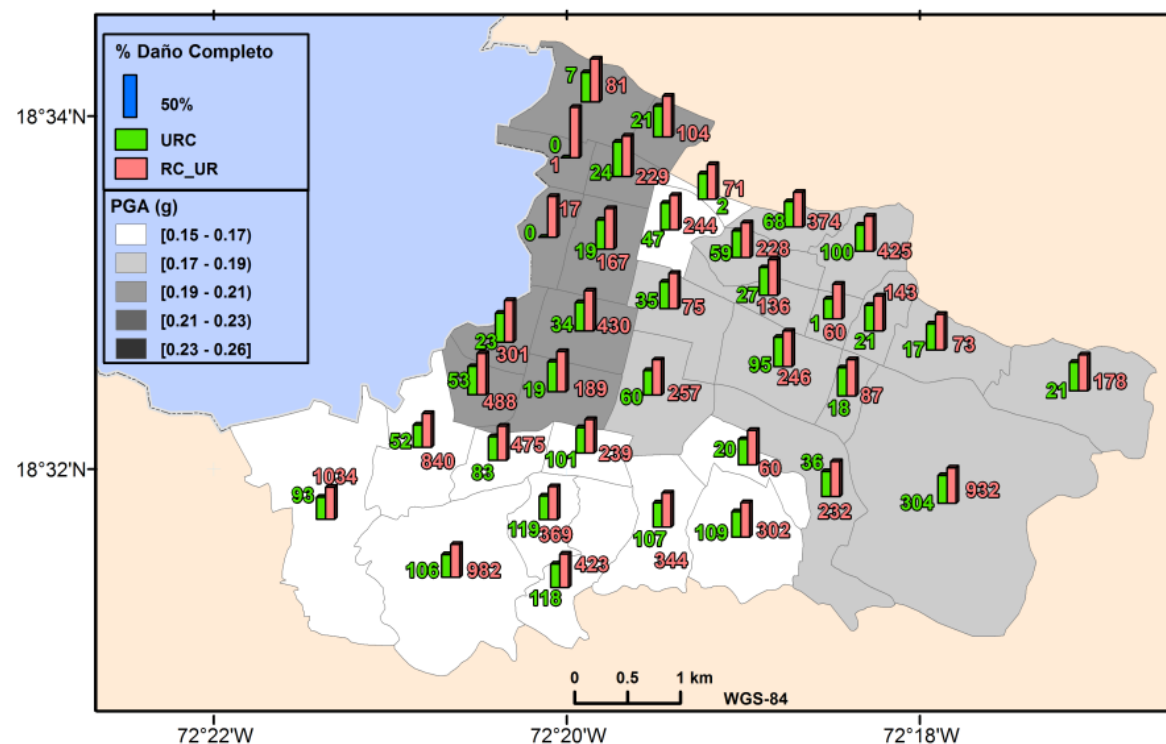
Resultados

### Resultados

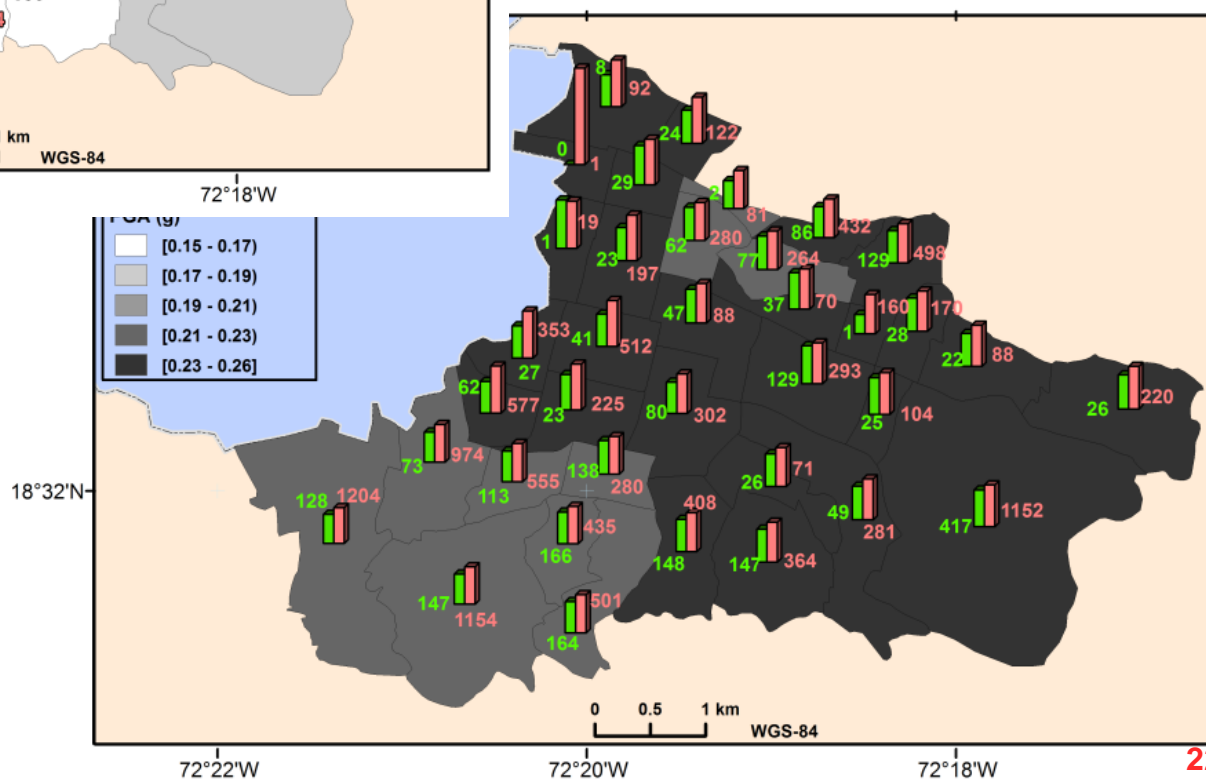
- Efecto suelo
- Daño completo 30-40 %
- Planeamiento servicios emergencias



## RIESGO – DAÑO COMPLETO (% + abs)



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Resultados Ob

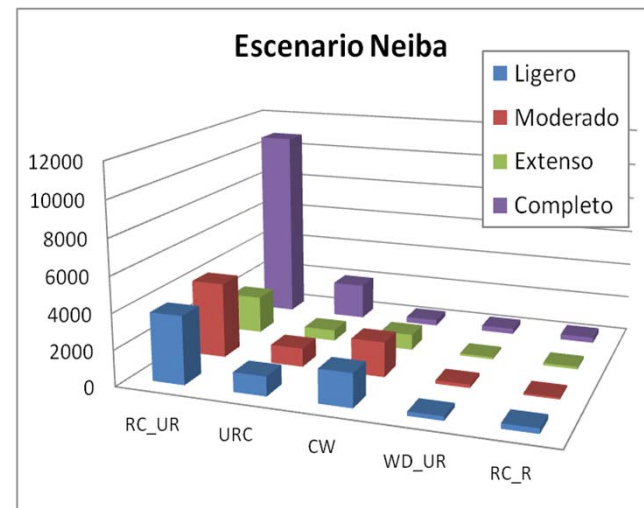
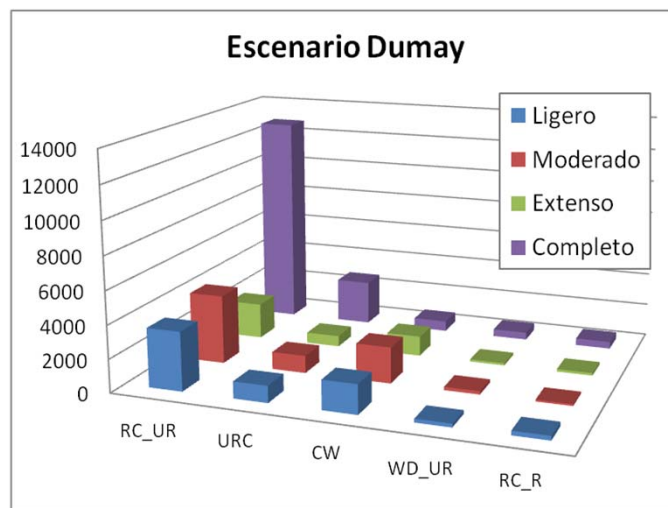


## Distribución de daños para otras tipologías en los dos escenarios

Damage State	Earthquake Scenario	Number of buildings <sup>1</sup> ± standard deviation					TOTAL <sup>2</sup>
		RC_UR	URC	CW	WD_UR	RC_R	
Slight	Dumay	3557 ± 423	1014 ± 156	1767 ± 241	221 ± 32	264 ± 49	7061 ± 876 (14%)
	Neiba	3810 ± 265	1087 ± 71	1866 ± 112	235 ± 5	288 ± 27	7471 ± 418 (15%)
Moderate	Dumay	4159 ± 254	1053 ± 81	2181 ± 225	197 ± 14	108 ± 12	7837 ± 410 (15%)
	Neiba	4229 ± 116	1042 ± 36	1954 ± 316	190 ± 11	107 ± 9	7607 ± 421 (15%)
Extensive	Dumay	2164 ± 74	659 ± 36	1212 ± 393	133 ± 10	150 ± 18	4358 ± 475 (9%)
	Neiba	2108 ± 94	611 ± 54	886 ± 315	121 ± 13	138 ± 18	3881 ± 500 (8%)
Complete	Dumay	12798 ± 2679	2698 ± 940	622 ± 461	450 ± 187	424 ± 165	17010 ± 4432 (34%)
	Neiba	10835 ± 2130	2020 ± 635	335 ± 209	310 ± 75	302 ± 121	13811 ± 3170 (27%)

### Resultados

- 65-75 % alcanzan algún grado de daño.

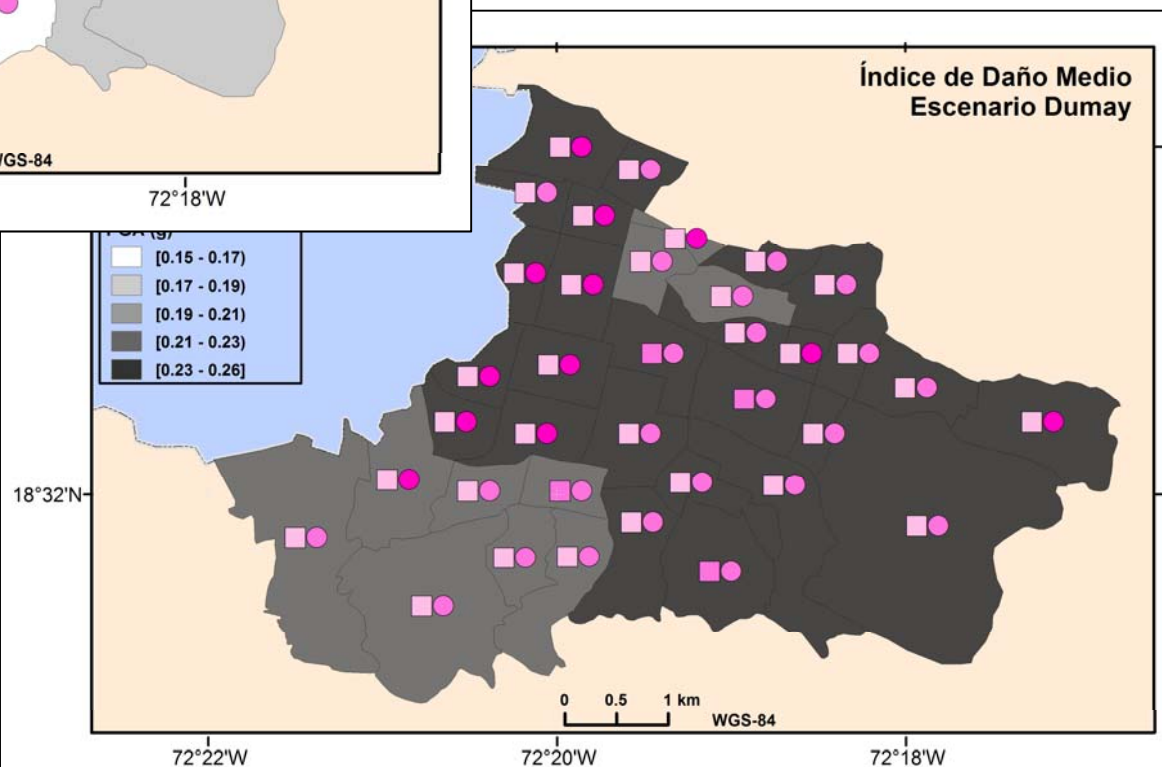
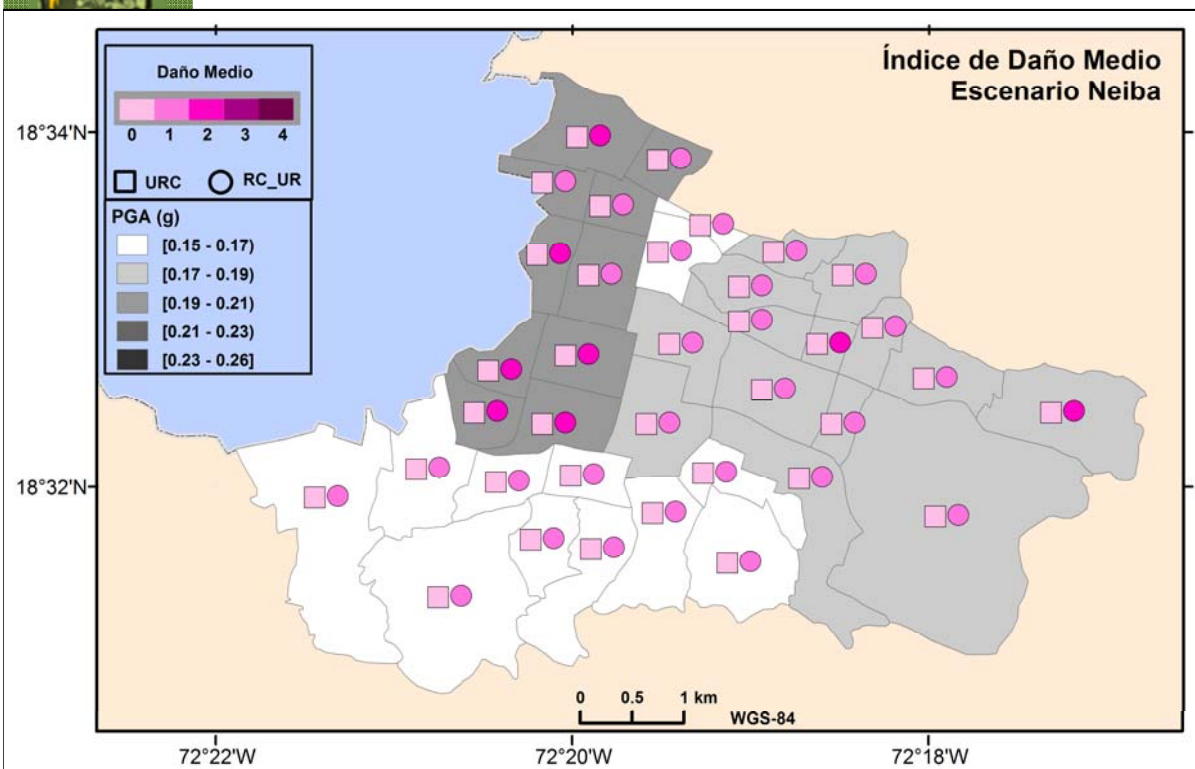




## RIESGO – DAÑO MEDIO ( $0 \leq D_m \leq 4$ )

### Resultados

- Máx. daño medio 2

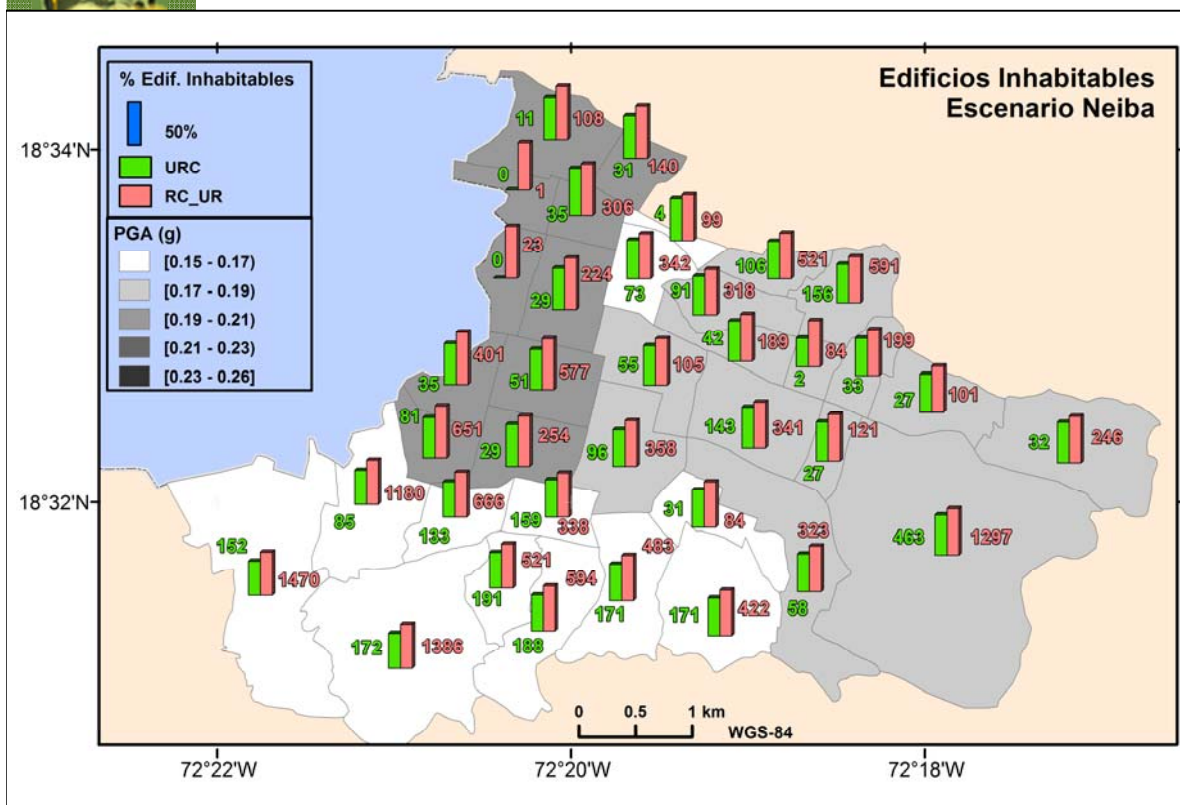


Resultados Ok



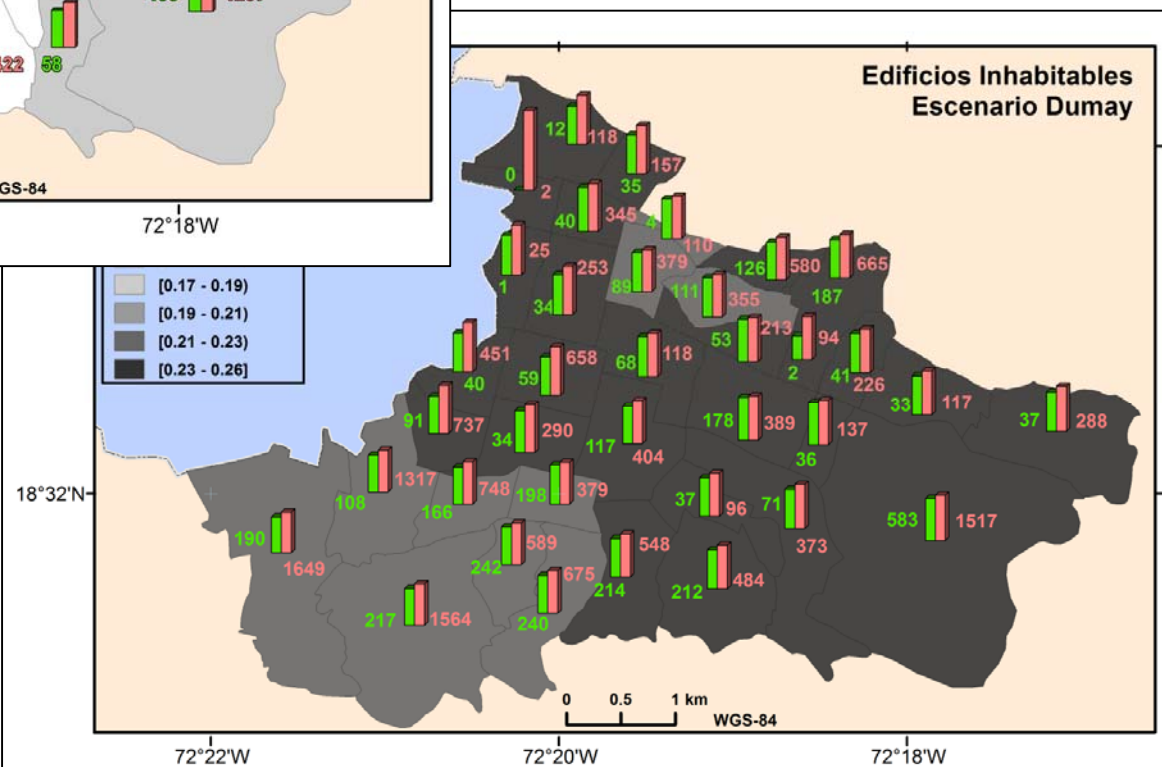


# RIESGO – EDIFICIOS INHABITABLES



## Resultados

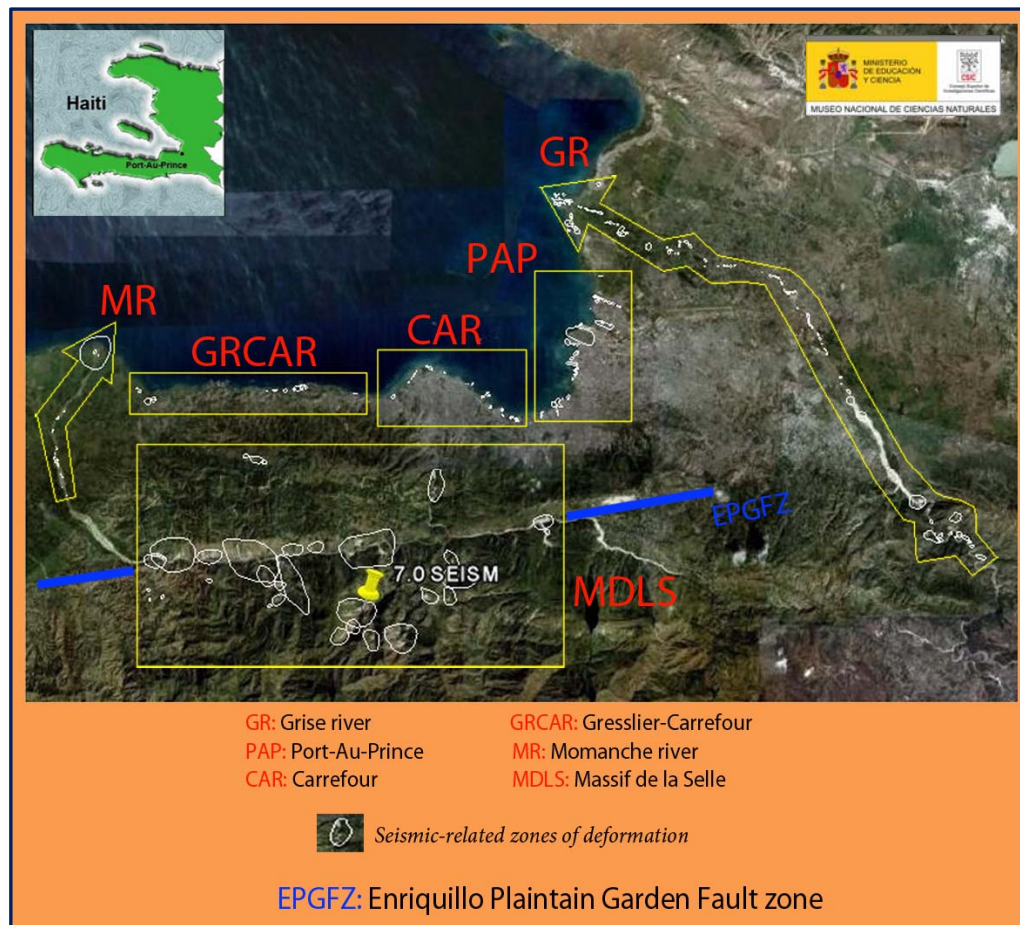
- Aprox. 50%



Resultados

# ESTUDIO EFECTOS SISMOGEOLOGICOS

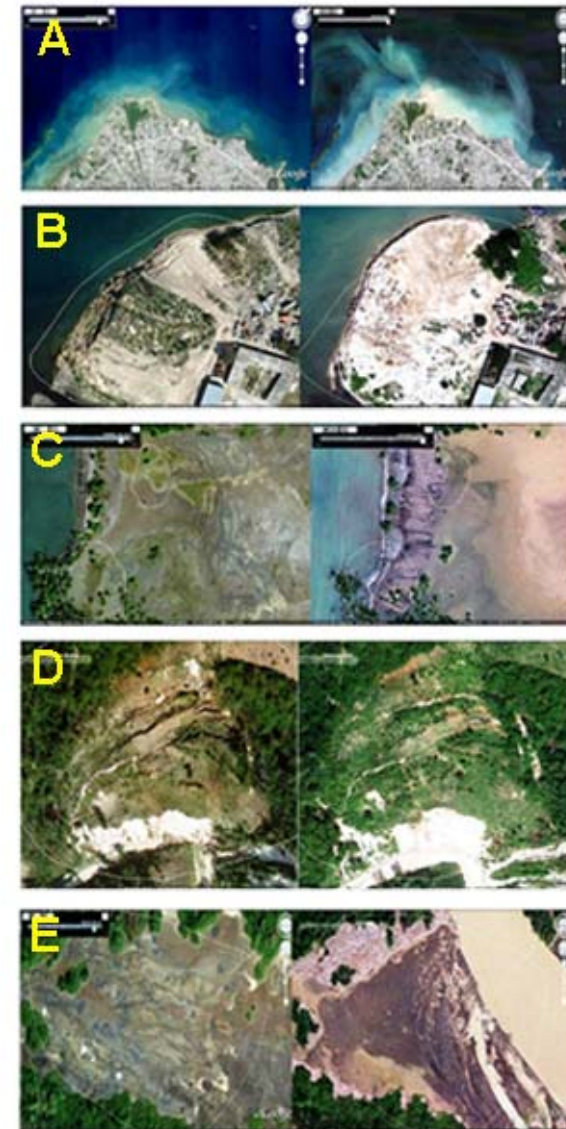
Imágenes de satélite antes-después del sismo y de la época de lluvias



Zonas susceptibles: identificarlas y evitar construir en ellas

A) Delta en Carrefour  
B) Fracturas en PauP  
C) Fallas hidroplásticas en Cul de Sac

D) Deslizamiento en Massif de la Selle  
E) Licuefacción en río Grise





# Avances de difusión

- **4CNIS Granada may-2011**
  - Mesa redonda Granada
  - Artículo de avances



**SISMO-HAITÍ: PROYECTO DE COOPERACIÓN PARA EL CÁLCULO DE LA PELIGROSIDAD Y EL RIESGO SÍSMICO EN HAITÍ**

**Y. Torres<sup>1</sup>, B. Benito<sup>1</sup>, D. Belizaire<sup>2</sup>, Grupo de trabajo Sismo-Haití.**

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Madrid. [y.torres@upm.es](mailto:y.torres@upm.es); [mariabelen.benito@upm.es](mailto:mariabelen.benito@upm.es)

<sup>2</sup> Observatorio Nacional de Medioambiente y Vulnerabilidad de Haití. [bdwynn1@gmail.com](mailto:bdwynn1@gmail.com)





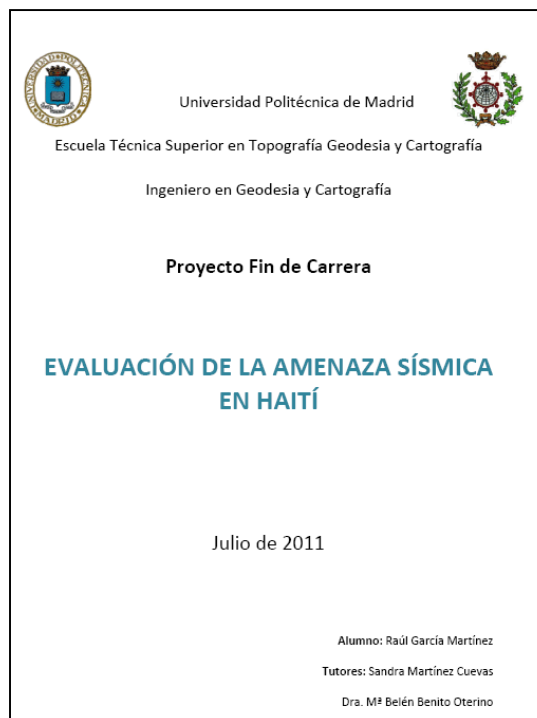
# Avances de difusión

- AGU S. Francisco dic-2011
- Póster riesgo



- PFC Raúl García (planificación)
- PFC Ana Rita Serna (ejecución)

- Manuel Navarro ?







# Conclusiones

---

## •Sismo-Haití: proyecto multidisciplinar con componente de CAPACITACIÓN

- **Tectónica activa:** estructuras acumulan hasta 20mm/año de deformación
  - Tener en cuenta los **efectos sismogeológicos** en los planes de urbanismo
  - **Catálogo** sísmico con más de 6000 sismos de  $4 < M < 8$  de diferentes agencias internacionales
  - **Zonificación sismogenética** en dos regímenes: superficial (6 zonas) y profunda (4 zonas).
  - **Peligrosidad:** para todos los periodos de retorno, las mayores aceleraciones se predicen en la zona norte de Haití, reflejando la mayor actividad sísmica en la **falla Septentrional**.
- 
- Para PR 500 años se alcanzan valores máximos de PGA de 480 gal en la zona norte. En el área de la falla de Enriquillo se alcanzan los menores valores (del orden de 100 gales), debido probablemente a los pocos terremotos recogidos en el catálogo sísmico en esa zona. Se propone revisar el parámetro b y dar la tasa a partir del strike-slip.
- 
- La morfología de los mapas de PGA para periodos de retorno de 1000 y 2500 años es muy similar, si bien en éstos se alcanzan valores mayores que llegan a ser en orden de 680 y 1020 gal, respectivamente.
- 
- La diferencia más notable en la morfología de los mapas de los tres periodos de retorno radica en el hecho de que para 1000 años la mayor peligrosidad se amplía en la zona norte de Haití, tal vez debido a la recurrencia de la falla septentrional.



# Conclusiones

---

- **Sismo-Haití: proyecto multidisciplinar con componente de CAPACITACIÓN**

- **Microzonación:** en base al mapa de Vs30, se concluye que las zona del puerto y el centro de la ciudad presentan suelos más blandos que las zonas montañosas periféricas
- **Vulnerabilidad** símica: el 60% de las viviendas tienen estructura de hormigón armado, el 15% de hormigón sin armar y el resto se reparte entre viviendas de muros confinados y viviendas de madera, principalmente, quedando un pequeño porcentaje de acero.
- **Riesgo** sísmico: los dos escenarios simulados ponen de manifiesto la alta vulnerabilidad de las estructuras, arrojando importantes porcentajes de daño completo (un 30% - 40%) en casi toda la ciudad. Se aprecia la influencia del efecto local, alcanzándose mayores movimientos sísmicos de entrada en geounidades de menor Vs30 (mayor amplificación), y viceversa. Una visión global de los daños indica que un 70 % de las viviendas alcanzaría algún grado de daño si se produjese un sismo como el vivido hace dos años.
- Plan de **emergencia:** hay que tener cuenta que la localización de los servicios de emergencias no está bien distribuida por toda la ciudad, quedando desamparadas geounidades que esperan altos grados de daño.

- **Los resultados de este proyecto pueden ser de aplicación directa en la futura normativa sismorresistente, los planes de urbanismo y el plan de emergencias ante riesgo sísmico**

- **A raíz de este proyecto, han surgido nuevas ideas y proyectos**





# Líneas Futuras

---

## •**PCI-Aecid**: FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL DE LA UNIVERSIDAD DE ESTADO DE HAITÍ EN EL ÁREA DE INGENIERÍA SÍSMICA

- Establecer una línea de formación en Geodinámica, Sismología e Ingeniería Sísmica en la Facultad de Ciencias y una base instrumental
- Aprovechar las capacidades en teleenseñanza de la UEH

## •**UPM**: REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL Y MEJORA DE LA HABITABILIDAD EN HAITÍ: SISMO-HAITI II

- Proponer medidas de refuerzo de estructuras
- Reducir la vulnerabilidad social aportando información a la población y a los responsables de la prevención de catástrofes y gestión de la emergencia
- Enseñarles a autoconstruir viviendas seguras para acortar el periodo de sombra.



**CAPACITACIÓN**



**SISMO-HAITÍ**

**Gracias por su atención**

